



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 101 38 284 A 1

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
G 03 F 7/20

21 Aktenzeichen: 101 38 284.7  
22 Anmeldetag: 10. 8. 2001  
43 Offenlegungstag: 27. 2. 2003

71 Anmelder:  
Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE; ASM  
Lithography B.V., Veldhoven, NL  
74 Vertreter:  
Dr. Weitzel & Partner, 89522 Heidenheim

72 Erfinder:  
Singer, Wolfgang, Dr., 73431 Aalen, DE; Antoni,  
Martin, 73430 Aalen, DE; Wangler, Johannes, 85551  
Kirchheim, DE; Egle, Wilhelm, Dipl.-Phys., 73432  
Aalen, DE; Yevgenyevich Banine, Vadim, Helmond,  
NL; Roelof Loopstra, Erik, Heeze, NL

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

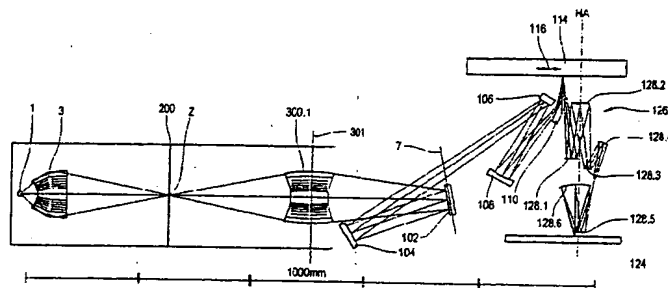
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Beleuchtungssystem mit genesteten Kollektoren

57 Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem für Wellenlängen  $\leq 193$  nm mit

- einer Objektebene,
- einer zur Objektebene konjugierten Ebene (200).

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Objektebene und der konjugierten Ebene (200) eine erste Kollektoreinheit (3) sowie nach der konjugierten Ebene (200) mindestens eine zweite Kollektoreinheit (300) angeordnet ist, wobei die erste Kollektoreinheit (3) das von der Objektebene ausgehende Strahlbüschel in die konjugierte Ebene (200) fokussiert und mindestens eine der Kollektoreinheiten (3, 300) mindestens eine Spiegelschale umfasst, auf die in Reflexion unter streifendem Einfall die Strahlen des von der Objektebene ausgehenden Strahlbüschels mit einem Einfallswinkel kleiner  $20^\circ$  zur Flächentangente der Spiegelschale auftreffen.



DE 101 38 284 A 1

BEST AVAILABLE COPY

- [0001] Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem für Wellenlängen  $\leq 193$  nm, wobei das Beleuchtungssystem eine Objektebene und eine zur Objektebene konjugierte Ebene sowie mindestens eine Kollektoreinheit, auf die in Reflexion unter streifendem Einfall die Strahlen des von der Objektebene aufgenommenen Strahlbüschels mit einem Einfallswinkel  $< 20^\circ$  zur Flächentangente der Spiegelschale auftreffen, umfasst.
- [0002] Um die Strukturbreiten für elektronische Bauteile noch weitere reduzieren zu können, insbesondere in den Submikron-Bereich, ist es erforderlich, die Wellenlänge des für die Mikrolithographie eingesetzten Lichtes zu verringern. Denkbar ist die Verwendung von Licht mit Wellenlängen kleiner 193 nm, beispielsweise die Lithographie mit weichen Röntgenstrahlen, die sogenannte EUV-Lithographie.
- [0003] Die EUV-Lithographie ist eine der vielversprechendsten zukünftigen Lithographietechniken. Als Wellenlängen für die EUV-Lithographie werden derzeit Wellenlängen im Bereich 11–14 nm, insbesondere 13.5 nm diskutiert bei einer numerischen Apertur von 0,2–0,3. Die Bildqualität in der EUV-Lithographie wird bestimmt einerseits durch das Projektionsobjektiv, andererseits durch das Beleuchtungssystem. Das Beleuchtungssystem soll eine möglichst gleichförmige Ausleuchtung der Feldebene, in der die strukturtragende Maske, das sogenannte Retikel, angeordnet ist, zur Verfügung stellen. Das Projektionsobjektiv bildet die Feldebene in eine Bildebene, die sogenannte Waferebene ab, in der ein lichtsensitives Objekt angeordnet ist. Projektionsbelichtungsanlagen für die EUV-Lithographie sind mit reflektiven optischen Elementen ausgeführt. Die Form des Feldes einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage ist typischerweise die eines Ringfeldes. Die Projektionssysteme werden üblicherweise im Scanning Mode betrieben. Eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage ist beispielsweise aus der EP-A-1026547 oder der EP-A-0939341 bekanntgeworden.
- [0004] Sowohl die EP-A-1026547 wie auch die EP-A-0939341 zeigen Beleuchtungssysteme, bei denen das Licht einer Lichtquelle von einem ersten Kollektor aufgenommen und in ein Zwischenbild in einer Zwischenbildebene abgebildet wird. Aus der EP-A-0939341 ist bekannt geworden, einen zweiten Kollektor der Zwischenbildebene nachzuordnen. Sowohl bei der EP-A-1026547 wie bei der EP-A-0939341 sind die Kollektoren normal-incidence Spiegel mit Vielfachbeschichtungen.
- [0005] Werden als Lichtquellen beispielsweise Lichtquellen wie in der US 5763930 beschrieben eingesetzt, so besteht das Problem, das Debris, beispielsweise Abrieb oder Schmutzteile, nach kurzer Zeit die Oberflächen der normal-incidence Spiegel verunreinigen und so die Reflexivität dieser Komponenten verringern.
- [0006] Aufgabe der Erfindung ist es somit, ein Beleuchtungssystem zu schaffen, bei dem die aus der EP-A-1026547 bzw. der EP-A-0939341 bekannten Nachteile vermieden werden. Insbesondere soll auch ein Eindringen von Debris und andere die optischen Komponenten schädigende Stoffe bzw. Strahlung in das den Kollektoren nachgeordnete Beleuchtungssystem vermieden werden. Desweiteren sollen die Reflexionsverluste im Beleuchtungssystem möglichst gering sein.
- [0007] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß mindestens ein Kollektor, vorzugsweise der der Lichtquelle am nächsten kommende, mindestens eine Spiegelschale umfaßt, auf die die Strahlen des von der Objektebene ausgehenden Strahlbüschels mit Einfallswinkeln kleiner  $20^\circ$  zu den jeweiligen Flächentangenten der Spiegelschale auftreffen. Besonders bevorzugt ist es, wenn ein derartiger Kollektor als genesteter Kollektor umfassend eine Vielzahl von um eine optische Achse rotationssymmetrische Spiegelschalen ausgebildet ist.
- [0008] Genestete Kollektoren für Wellenlängen  $\leq 193$  nm, insbesondere Wellenlängen im Bereich der Röntgenstrahlen sind aus einer Vielzahl von Schriften bekanntgeworden.
- [0009] So zeigt die US 5 768 339 einen Kollimator für Röntgenstrahlen, wobei der Kollimator mehrere genestete paraboloidförmige Reflektoren aufweist. Der Kollimator gemäß der US 5 768 339 dient dazu, ein isotrop abgestrahltes Strahlbündel einer Röntgen-Lichtquelle in einen parallelen Strahl zu formen.
- [0010] Aus der US-A-1865441 ist ein genesteter Kollektor für Röntgenstrahlen bekanntgeworden, der wie im Falle der US 5 768 339 dazu dient, von einer Quelle abgegebene isotrope Röntgenstrahlen zu einem parallelen Strahlbündel zu kollimieren.
- [0011] Die US 5,745,547 zeigt mehrere Anordnungen von Multikanaloptiken, die dazu dienen, durch Mehrfachreflexionen die Strahlung einer Quelle, insbesondere Röntgenstrahlung, in einem Punkt zu fokussieren.
- [0012] Um eine besonders hohe Transmissionseffizienz zu erreichen, schlägt die Erfindung gemäß der US 5 745 547 elliptisch geformte Reflektoren vor.
- [0013] Aus der DE 30 01 059 C2 ist für die Verwendung in Röntgenstrahlen-Lithographiesystemen eine Anordnung bekanntgeworden, die parabolische zwischen Röntgenstrahlquelle und Maske angeordnete genestete Spiegel aufweist. Diese Spiegel sind so angeordnet, daß die divergierenden Röntgenstrahlen zu einem parallel verlaufenden Ausgangsstrahlbüschel geformt werden.
- [0014] Die aus der WO 99/27542 bekanntgewordene Anordnung von genesteten Reflektoren dient bei einem Röntgenstrahl-Proximity-Lithographie-System dazu, daß Licht einer Lichtquelle zu refokussieren, so daß eine sekundäre Lichtquelle ausgebildet wird. Die genesteten Schalen können Ellipsoidform aufweisen.
- [0015] Aus der US 6,064,072 ist ein genesteter Reflektor für hochenergetische Photonenquellen bekanntgeworden, der dazu dient, die divergierenden Röntgenstrahlen zu einem parallel verlaufenden Strahlbüschel zu formen.
- [0016] Die WO 00/63922 zeigt einen genesteten Kollektor, der dazu dient einen Neutronenstrahl zu kollimieren.
- [0017] Aus der WO 01/08162 ist ein genesteter Kollektor für Röntgenstrahlen bekanntgeworden, der sich durch eine Oberflächenrauigkeit der inneren, reflektierenden Fläche, der einzelnen Spiegelschalen von weniger als 12 Å rms auszeichnet. Die in der WO 01/08162 gezeigten Kollektoren umfassen auch Systeme mit Mehrfachreflexionen, insbesondere auch Woltersysteme, und zeichnen sich durch eine hohe Auflösung, wie sie beispielsweise für die Röntgenlithographie gefordert wird, aus.
- [0018] In der zur Objektebene konjugierten Ebene wird ein Zwischenbild der in der Objektebene angeordneten Lichtquelle ausgebildet. Bei einem Beleuchtungssystem mit einer zur Objektebene konjugierten Ebene kann ein erster Raum und ein zweiter Raum ausgebildet werden, wobei der erste vom zweiten Raum räumlich getrennt ist, so daß beispiels-

weise Debris nicht vom ersten in den zweiten Raum gelangen kann. Hierzu wird bzw. werden nahe der Ebene, in der das Zwischenbild ausgebildet wird, Einrichtungen zur räumlichen Trennung des ersten Raumes vom zweiten Raum vorgesehen. Derartige Einrichtungen können beispielsweise Einrichtungen umfassen, die den ersten Raum vom zweiten Raum druckmäßig trennen, sowie den zweiten Raum betreffend Wärmestrahlung abschirmen. Unter einer Anordnung der Einrichtungen nahe der zur Objektebene konjugierten Ebene wird eine Anordnung mit einem Abstand, der kleiner ist als  $1/10$  des Abstandes der Lichtquelle (1) zur konjugierten Ebene (200) verstanden.

[0019] Durch die Ausgestaltung der Kollektoreinheit(en) als genesteter Kollektor bzw. genestete Kollektoren kann des weiteren eine weitgehend gleichmäßige Ausleuchtung in einer Ebene erreicht werden. Die Spiegelschalen des genesteten Kollektors bzw. der genesteten Kollektoren sind bevorzugt als ringförmige Segmente eines Ellipsoids ausgebildet.

[0020] Umfasst ein Kollektor ringförmige Segmente, die Ellipsoide sind, so wird ein konvergentes Strahlbündel ausgebildet.

[0021] In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß der genestete Kollektor mindestens eine Spiegelschale mit einem ersten ringförmigen Segment und einen zweiten ringförmigen Segment umfasst. Bevorzugt ist das erste ringförmige Segment ein Abschnitt eines Hyperboloids und das zweite Segment ein Abschnitt eines Ellipsoids. Bei einem derartigen Kollektor wird ein konvergenter Strahlengang ausgebildet. Spiegelsysteme, umfassend hyperboloidförmige bzw. ellipsoidförmige Spiegel sind aus der Literatur als Woltersysteme bekanntgeworden. Betreffend Woltersysteme wird auf Wolter, Annalen der Physik 10, 94-114, 1952, verwiesen, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird.

[0022] Die Erfindung soll nachfolgend anhand der Zeichnungen beispielhaft beschrieben werden.

[0023] Es zeigen:

[0024] Fig. 1a den prinzipiellen Aufbau einer Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem gemäß der Erfindung mit zwei genesteten Kollektoren und Zwischenbild,

[0025] Fig. 1b eine Schale eines genesteten Kollektors mit einem ersten Segment und einem zweiten Segment,

[0026] Fig. 1c den prinzipiellen Aufbau einer Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem gemäß der Erfindung mit zwei Kollektoren, einem genesteten Kollektor und einem normalincidence Kollektor und Zwischenbild,

[0027] Fig. 2 Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem gemäß der Erfindung mit Zwischenbild und mit einem genesteten Kollektor vor dem Zwischenbild und einem Gitterspektralfilter,

[0028] Fig. 3a-3b Projektionsbelichtungsanlagen mit Mitteln zur räumlichen Trennung eines ersten Raumes von einem zweiten Raum.

[0029] In Fig. 1a ist in einer Prinzipiansicht eine Projektionsbelichtungsanlage für die Herstellung von beispielsweise mikroelektronischen Bauteilen, mit einem Beleuchtungssystem gemäß der Erfindung gezeigt.

[0030] Das Beleuchtungssystem gemäß Fig. 1a umfasst eine Lichtquelle 1, die in vorliegendem Fall in der Objektebene des Beleuchtungssystems angeordnet ist. Das von der Lichtquelle 1 ausgesandte Licht, von dem nur drei repräsentative Strahlen gezeichnet sind, wird von einem erfindungsgemäßen genesteten Kollektor 3 gesammelt und vom genesteten Kollektor 3 in eine zur Objektebene konjugierten Ebene 200 fokussiert. In der zur Objektebene konjugierten Ebene 200 wird ein Zwischenbild Z der Lichtquelle 1 ausgebildet. Zur Ausbildung eines konvergenten Strahlbüschels, dessen Fokus in der zur Objektebene konjugierten Ebene liegt, können die Spiegelschalen des genesteten Kollektors 3 ringförmige Segmente, die Ausschnitte von Ellipsoiden sind, sein. In einer alternativen Ausführungsform kann mindestens eine Spiegelschale des genesteten Kollektors zwei Segmente, ein erstes Segment und ein zweites Segment umfassen. Das erste Segment kann einen Ausschnitt eines Hyperboloids und das zweite Segment ein Ausschnitt eines Ellipsoids sein. Das vom Zwischenbild Z ausgehende Lichtbündel wird von einem zweiten Kollektor 300.1, der vorliegend ebenfalls genestet ausgeführt ist, auf ein erstes optisches Element 102 mit einer Vielzahl von ersten Rasterelementen, sogenannten Feldwaben gelenkt. Das erste optische Element 102 wird auch als Feldwabenspiegel bezeichnet. Das Beleuchtungssystem ist ein doppelt facettiertes Beleuchtungssystem wie in der US 6 198 793 B1 offenbart, dessen Inhalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird. Das System umfasst ein zweites optisches Element mit einer Vielzahl von zweiten Rasterelementen 104, die als Pupillenwaben bezeichnet werden. Die optischen Elemente 106, 108 und 110 dienen im wesentlichen dazu, das Feld in der Feldebene 114 zu formen und die Austrittspupille des Beleuchtungssystems, die mit der Eintrittspupille des Projektionsobjektives zusammenfällt und in Fig. 1a und 1c nicht dargestellt ist, zu füllen. Das Retikel in der Feldebene 114 ist eine Reflexionsmaske. Das Retikel ist in dem als Scanning-System ausgelegten EUV-Projektionssystem in die eingezeichnete Richtung 116 verfahrbar.

[0031] Ein Projektionsobjektiv 126 beispielsweise mit sechs Spiegeln 128.1, 128.2, 128.3, 128.4, 128.5, 128.6, wie in der EP-A-1 035 445 beschrieben, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich mitaufgenommen wird, bildet das Retikel auf das zu belichtende Objekt 124 ab. Die Spiegel 128.1, 128.2, 128.3, 128.4, 128.5, 128.6 des Projektionsobjektives sind um die optische Achse HA zentriert angeordnet.

[0032] Die Lichtquelle 1 ist beispielsweise eine Plasma-Lichtquelle, insbesondere eine Laser-Plasma-Quelle oder eine Pinch-Plasma-Quelle, oder eine Lichtquelle wie in der US 5763930 offenbart. Im Strahlengang vom genesteten Kollektor 3 zum ersten optischen Element des nachfolgenden Beleuchtungssystems, das vorliegend ein zweiter genesteter Kollektor 300.1 ist, können Einrichtungen zur räumlichen Trennung von Lichtquelle und genestetem Kollektor vom nachfolgenden Beleuchtungssystem vorgesehen sein, die in den Fig. 3a bis 3b näher dargestellt sind. Bevorzugt befinden sich diese Einrichtungen in oder nahe der zur Objektebene konjugierten Ebene 200, in der das Zwischenbild Z zu liegen kommt.

[0033] Unter einer Anordnung der Einrichtung nahe der zur Objektebene konjugierten Ebene wird eine Anordnung mit einem Abstand, der kleiner ist als  $1/10$  des Abstandes der Lichtquelle 1 zur konjugierten Ebene 200, verstanden.

[0034] In Fig. 1b sind beispielhaft für die Spiegelschale 201 der genesteten Kollektoren 3, 300.1 die charakteristischen Koordinaten eines Segmentes einer Spiegelschale 201 dargestellt. Es bezeichnet ZS die z-Position des Flächenscheitels bezogen auf die Position der Lichtquelle 1, ZV und ZH die Anfangs- und Endposition des Segmentes bezogen auf die Position des Flächenscheitels ZS. Umfasst der genestete Kollektor Spiegelschalen, mit mehreren Segmenten, so werden die Bezugszeichen ZS, ZH und ZV in analoger Art und Weise für jedes Segment verwandt.

[0035] In Tabelle 1 im Anhang sind für die das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1a die Flächenscheitelpositionen bezogen auf ein Referenzkoordinatensystem in der Objektebene 114 und die Flächenparameter angegeben. In Tabelle 1 im Anhang bezeichnen H1–H8 die ersten Segmente (Hyperboloide) des ersten Kollektors, und E1–E8 die zweiten Segmente (Ellipsoide) des ersten Kollektors. S1 bis S8 bezeichnen die Schalen des zweiten Kollektors, der durch Segmente von Ellipsoiden gebildet wird. N1 und N2 bezeichnen den ersten und den zweiten Abbildungsspiegel 108, 106 des Beleuchtungssystems. Der erste Spiegel 106 ist ellipsoidförmig, der zweite Spiegel 108 toroidförmig. Y und Z bezeichnen die Positionsvektoren der lokalen Flächenscheitel bezüglich des Referenz-Koordinatensystems in der Objektebene 114.  $\alpha$  bezeichnet die Drehwinkel der Flächenscheitelsysteme um die x-Achse im Uhrzeigersinn, bezogen auf das Referenzkoordinatensystem. Die Lage der lokalen Koordinatensysteme wird durch Translation und ausschließende Drehung um  $\alpha$  bezogen auf das Referenzkoordinatensystem in der Ebene 114 bestimmt. Alle Koordinatensystem-Referenzkoordinatensystem und lokale Koordinatensysteme sind rechtshändig. In Tabelle 1 bezeichnet R den Krümmungsradius im Flächenscheitel, und KY die konische Konstante. ZV und ZH sind in der Beschreibung zu Fig. 1b erläutert.

[0036] Die Kollektionsapertur des ersten Kollektors beträgt  $\sim 0.72$ ; das Beleuchtungssystem füllt ein Feld mit 8 mm Durchmesser in Scanrichtung und 108 mm Breite. Die Apertur am Retikel in der Objektebene beträgt 0.03125. Das System ist für einen Feldradius von 138 mm ausgelegt.

[0037] Tabelle 2 im Anhang gibt die Flächenscheitel und Flächenparameter des Ausführungsbeispiels aus Fig. 1c wieder. Die Flächenscheitel sind wie bei Tabelle 1 auf das Referenzkoordinatensystem in der Objektebene 114, in der das Retikel zu Liegen kommt, bezogen. Die lokalen Koordinatensysteme am Flächenscheitel erhält man durch die Dezentrierung um den Dezentriervektor (X, Y, Z) und anschließende Drehung zunächst um den Winkel  $\alpha$  um die x-Achse, dann um den Winkel  $\beta$  um die neue gedrehte y-Achse und schließlich um den Winkel  $\gamma$  um die neue, zweifach gedrehte z-Achse.

[0038] Die Koordinaten ZV, ZH einer Schale eines genesteten Kollektors sind in der Beschreibung zu Fig. 1b erläutert. Bei den in Fig. 1a und 1c gezeigten Beleuchtungssystemen ist jedem ersten Rasterelement des ersten optischen Elementes 102 ein zweites Rasterelement des zweiten optischen Elementes 104 zugeordnet. Die Neigungswinkel der ersten Rasterelemente sind so gewählt, daß die durch die ersten Rasterelemente geformten sekundären Lichtquellen am Ort der zugeordneten zweiten Rasterelemente gebildet werden. Die Neigungswinkel der zweiten Rasterelemente sind so gewählt, daß sich die Bilder der ersten Rasterelemente in die Feldebene 114 des Beleuchtungssystems überlagern. In beiden Ausführungsbeispielen sind die ersten Rasterelemente durch Planfacetten realisiert.

[0039] Die Ausbildung als Planfacetten hat insbesondere fertigungstechnische Vorteile. Die Verwendung von Planfacetten als erste Rasterelemente ist möglich, wenn die Kollektoreinheit derart gestaltet ist, daß sie die Lichtquelle 1 in die Ebene, in der das zweite optische Element mit zweiten optischen Rasterelementen angeordnet ist, abbildet. Falls nur ein einziges Rasterelement auf dem ersten optischen Element angeordnet ist, würde dies zu einer einzigen sekundären Lichtquelle führen. Die Vielzahl von sekundären Lichtquellen wird durch die Vielzahl von ersten Rasterelementen gebildet, die die sekundären Lichtquellen gemäß dem Neigungswinkel der ersten als Planfacetten ausgebildeten Rasterelemente in der Ebene, in der das zweite optische Element mit zweiten Rasterelementen angeordnet ist, verteilen. Die positive optische Brechkraft zur Fokussierung eines einfallenden Strahlbündels in sekundären Lichtquellen wird vollständig durch die Kollektoreinheit aufgebracht. Daher wird der optische Abstand zwischen der bildseitigen Hauptebene 301 der Kollektoreinheit 300.1, 300.2 und der Bildebene der Kollektoreinheit, die vorliegend nicht dargestellt ist, näherungsweise durch die Summe der optischen Distanzen zwischen der bildseitigen Hauptebene 301 der Kollektoreinheit 300.1, 300.2 und des ersten optischen Elementes 102 und der optischen Distanz zwischen dem ersten optischen Element 102 mit ersten Rasterelementen und der Ebene, in der das zweite optische Element 104 mit zweiten Rasterelementen angeordnet ist, gegeben. Da die ersten Rasterelemente plan ausgebildet sind, beeinflussen sie die Abbildung der Lichtquelle 1 in sekundäre Lichtquellen nicht, abgesehen von der Aufspaltung in eine Vielzahl von Lichtquellen auf Grund der Neigungswinkel. Abhängig von der positiven optischen Brechkraft der Kollektoreinheit, können die ersten Rasterelemente auch positive oder negative optischen Brechkraft aufweisen.

[0040] Die in Fig. 1c gezeigte Ausführungsform der Erfindung zeigt im Gegensatz zu der Ausführungsform gemäß Fig. 1a ein System, bei dem der zweite Kollektor 300.2, als normal-incidence Kollektor ausgebildet ist. Gleiche Bauteile wie in Fig. 1a sind mit denselben Bezugsziffern belegt. Bei einem normal-incidence-Kollektor 300.2 sind die Einfallswinkel kleiner  $30^\circ$  bezüglich der Oberflächennormale. Der Strahlengang von der Lichtquelle 1 bis zum zweiten Kollektor 300.2 befindet sich außerhalb der Zeichenebene, d. h. der erste genestete Kollektor 3 ist vor oder hinter dem Projektionsobjektiv 126 angeordnet. Der normal-incidence-Kollektor ist als Ellipsoidspiegel ausgelegt, d. h. er fokussiert das vom Zwischenbild Z der Lichtquelle 1 ausgehende Strahlbündel derart, daß die Rasterelemente des ersten optischen Elementes 102 als Planfacetten ausgebildet werden können, wie oben beschrieben und in dem US-Patent US 6198793 B1 offenbart, dessen Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen wird.

[0041] In Fig. 2 ist eine Prinzipskizze einer EUV-Beleuchtungsanlage gezeigt, die sich von den in den Fig. 1a und 1c dargestellten Anlagen dadurch unterscheidet, daß nach dem Zwischenbild Z kein weiterer Kollektor angeordnet ist. Gleiche Bauteile wie in den Fig. 1a und 1c sind mit denselben Bezugsziffern belegt.

[0042] In Fig. 2 ist ein 8-schaliger Kollektor, wie er beim System gemäß Fig. 1a als erster Kollektor 3 eingesetzt.

[0043] Die optischen Komponenten und der Strahlverlauf einiger Lichtstrahlen einer Projektionsbeleuchtungsanlage gemäß Fig. 1a und 1c sind mit denselben Bezugsziffern belegt.

[0044] Zusätzlich eingefügt ist auf den Kollektor 3 folgend ein Planspiegel 220 zur Faltung des Systems, um Bauräume für mechanische und elektrische Komponenten in der Feldebene 124, in der die Waferstage angeordnet ist, zur Verfügung zu stellen.

[0045] Der Planspiegel 220 ist in der vorliegenden Ausführungsform als diffraktives Spektralfilter ausgelegt worden, d. h. durch ein Gitter mit einem Beugungswinkel von  $2^\circ$  zwischen  $0^\circ$  und genutzter Beugungsordnung. Zusammen mit der Blende 222 in der Nähe des Zwischenbildes Z der Quelle kann damit ungewünschte Strahlung mit beispielsweise Wellenlängen wesentlich größer als der gewünschten Wellenlänge, im vorliegenden Fall 13.5 nm, vom Eintritt in den

Teil des hinter der Blende 222 liegenden Beleuchtungssystems abgehalten werden.

[0046] Die Blende 222 kann auch dazu dienen, den Raum umfassend Lichtquelle 1, den genesteten Kollektor 3 sowie den als Gitter ausgelegten Planspiegel 220 vom nachfolgenden Beleuchtungssystem räumlich zu trennen. Werden beide Räume durch das Einbringen eines Ventiles nahe des Zwischenfokus getrennt, so ist auch eine druckmäßige Trennung möglich. Durch eine räumliche beziehungsweise eine druckmäßige Trennung kann verhindert werden, daß Verschmutzungen, die von der Lichtquelle herrühren in das hinter der Blende 222 liegende Beleuchtungssystem gelangen.

[0047] Das erste optische Element 102 umfaßt 122 erste Rasterelemente mit einer Ausdehnung von jeweils 54 mm x 2,75 mm. Das zweite optische Element 104 weist 122 den ersten Rasterelementen zugeordneten zweiten Rasterelementen mit einem Durchmesser von jeweils 10 mm auf. Alle Ortsangaben der optischen Komponenten in Tabelle 3 im Anhang sind auf das Referenz-Koordinatensystem in der Objektebene 114, in der das Retikel angeordnet ist, bezogen. Desweiteren werden rechtshändige Koordinatensysteme und Drehung im Uhrzeigersinn zugrundegelegt. Neben den lokalen Koordinatensystemen der optischen Komponenten sind die lokalen Koordinatensysteme des Zwischenfokusses Z und der Eintrittspupille F angegeben. Der feldformende Spiegel 110 besteht aus einem außeraxialen Segment eines Rotationshyperboloids. R bezeichnet den Krümmungsradius und K die konische Konstante des jeweiligen optischen Elementes.

[0048] In Fig. 3a ist die erste Ausführungsform der Erfindung gemäß Fig. 1a der Erfindung nochmals detaillierter gezeigt.

[0049] Die Ausführungsform gemäß Fig. 3a umfaßt wie das System gemäß Fig. 1a zwei Kollektoreinheiten 3, 300, die beide als genestete Kollektoren ausgeführt sind. Das Licht der Lichtquelle 1 in der Objektebene gelangt auf den ersten Kollektor 3 und wird in die zur Objektebene konjugierten Ebene 200 fokussiert. In der Ebene 200 wird ein Zwischenbild Z der Lichtquelle ausgebildet. Zwischen Lichtquelle 1 und dem ersten genesteten Kollektor 3 ist eine Folienfalle 302 angeordnet. Eine derartige Folienfalle 302 ist beispielsweise in der WO 99/42904 gezeigt, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen wird. Die Folienfalle 302 dient dazu, Makropartikel, Mikropartikel, Cluster von Mikropartikeln sowie Atome bzw. Ionen zu filtern und zu verhindern, daß derartige Teilchen in den ersten Raum 304 gelangen, in dem der Kollektor 3 angeordnet ist. Im ersten Raum 304, in dem der genestete Kollektor 3 angeordnet ist, herrschen Drücke von weniger als  $10^{-3}$  mbar Xenon und jeweils weniger als  $10^{-2}$  mbar Argon und Helium. Der Druck von Kohlenwasserstoffen  $C_xH_y$  beträgt weniger als  $10^{-7}$  mbar, der von  $H_2O$  weniger als  $10^{-9}$  mbar. Im Raum 304 wird optional desweiteren ein Gitterspektralfilter ausgebildet. Der Gitterspektralfilter umfaßt ein Gitterelement 306 sowie eine physikalische Blende, die vorliegend durch die räumliche Blende 310 zur Trennung des ersten Raumes 304 vom zweiten Raum 308 dargestellt wird. Das Gitterelement 306 erzeugt Lichtbündel unterschiedlicher Beugungsordnung mit je einem Fokuspunkt. Der Fokuspunkt einer von der nullten Beugungsordnung verschiedenen Beugungsordnung, vorzugsweise der -1. oder 1. Beugungsordnung kommt in der Blendenöffnung der physikalischen Blende, vorliegend der räumlichen Blende 310, zum Liegen. Hierdurch kann Strahlung mit nicht gewünschten Wellenlängen herausgefiltert werden, so daß das Lichtbündel nach der physikalischen Blende nur noch Strahlung mit einer Wellenlänge von bspw. 7 bis 26 nm enthält. Hierdurch wird eine spektrale Filterung erreicht.

[0050] Durch die räumliche Blende 310 mit einer Öffnung 312, die vorzugsweise einen maximalen Durchmesser von weniger als 15 mm aufweist, wird der erste Raum 304 vom nachfolgenden Beleuchtungssystem, das in einem zweiten Raum 308 angeordnet ist, räumlich getrennt, wobei im Bereich der Öffnung 312 eine Ventileinrichtung 314 angeordnet sein kann. Durch die Ventileinrichtung 314 können die Vakua des ersten und des zweiten Raumes so voneinander getrennt werden, daß eventuell in den ersten Raum gelangende Debris, wie beispielsweise das Xe- oder Li-Gas der Quelle, Elektrodenmaterial der Quelle oder jede andere Art von Teilchen, nicht in den zweiten Raum 308 des Beleuchtungssystems gelangen und die dort angeordneten optischen Komponenten beschädigen. Die Ventileinrichtungen ermöglichen ferner die vollständige Trennung des Vakuums im ersten Raum 304 vom Vakuum im zweiten Raum 308, so daß die im ersten Raum 304 angeordnete erste Einheit, umfassend Lichtquelle 1, Kollektor 3 und Gitterelement 306 getrennt von den im zweiten Raum 308 angeordneten optischen Komponenten ausgetauscht oder gereinigt werden kann.

[0051] Die Trennung der Vakua geschieht über Differenzpumpstrecken. Durch Einbringen des zweiten Kollektors 300 in den Strahlengang im zweiten Raum 308 vor dem ersten optischen Element mit ersten Rasterelementen 102 ist es möglich, daß die ersten Rasterelemente des ersten optischen Elementes mit Rasterelementen 102 ohne Brechkraft, d. h. als Planfacetten, ausgebildet werden können.

[0052] Neben der Trennung der Vakua des ersten Raumes vom zweiten Raum bewirkt die räumliche Blende 310 des weiteren eine einfache mechanische Trennung der Einzelkomponenten sowie eine einfache Möglichkeit einer effektiven Abschirmung von Wärmestrahlung. Hierzu kann die räumliche Blende 310 beispielsweise mit einem die IR-Strahlung absorbierenden Material versehen sein. Die in die räumliche Blende 310 dann eingetragene Wärme kann beispielsweise mit Hilfe von Kühleinrichtungen abtransportiert werden.

[0053] Bei der Ausbildung der Spiegelschalen des zweiten genesteten Kollektor 300 ist es vorteilhaft, wenn die Vignettierungen der zweiten Kollektoreinheit 300 im Schatten der ersten genesteten Kollektoreinheit 3 liegen.

[0054] In Fig. 3b ist eine alternative Ausführungsform eines Beleuchtungssystems gemäß der Erfindung gezeigt. Das Beleuchtungssystem umfaßt wie die Ausführungsform gemäß Fig. 3a einen genesteten Kollektor 3, der im ersten Raum 304 des Systems angeordnet ist. Das System weist wie die Ausführungsform gemäß Fig. 3a in der zur Objektebene konjugierten Ebene 200 ein Zwischenbild Z der Lichtquelle 1 auf. In oder nahe der Ebene 200 ist zur räumlichen Trennung des ersten Raumes 306 vom zweiten Raum 308 eine räumliche Blende 310 angeordnet, die eine weitere Folienfalle 316 umfaßt. Wie im Falle von Fig. 3a wird das Eindringen von Debris in den zweiten Raum 308, umfassend das Beleuchtungssystem, durch differentielles Bepumpen des ersten Raumes 304 und des zweiten Raumes 308 stark vermindert. Des weiteren weist die Ausführungsform gemäß Fig. 3b nur einen einzigen Kollektor, nämlich den genesteten Kollektor 3, im ersten Raum 304 auf. Um bei einem doppelt facettierten Beleuchtungssystem sekundäre Lichtquellen zu erzeugen, ist es bei der Ausführungsform gemäß Fig. 3b notwendig, daß die ersten Rasterelemente optische Brechkraft aufweisen. Dies hat gegenüber der Ausführungsform gemäß Fig. 3a jedoch fertigungstechnische Nachteile.

[0055] Mit der Erfindung wird erstmals ein Beleuchtungssystem angegeben, bei dem der Debris der Lichtquelle und

die Restgas-Konzentration, welche durch die Quellen, vorzugsweise Plasmaquellen, in das Vakuum gebracht werden, die optischen Komponenten des Beleuchtungssystems nicht in ihrer Wirksamkeit, beispielsweise in ihrer Reflektivität, beeinträchtigt.

## Anhang

Tabelle 1

Designaten des Systems gemäß Fig. 1a

Koordinatensysteme der		Flächenscheitel		Feldradius 138 mm			
	Y	Z	Alpha	R	KY	ZV	ZH
Quelle	5626.666	-483.841	94.725	Quelle			
H1	5637.136	-482.975	94.725	22.325	-1.266	88.879	169.385
H2	5633.864	-483.246	94.725	15.052	-1.175	94.873	173.085
H3	5631.721	-483.423	94.725	10.435	-1.118	99.954	175.900
H4	5630.210	-483.548	94.725	7.253	-1.081	102.833	177.676
H5	5629.144	-483.636	94.725	5.041	-1.057	105.048	179.531
H6	5628.397	-483.698	94.725	3.508	-1.040	107.562	182.354
H7	5627.828	-483.745	94.725	2.348	-1.029	107.921	183.901
H8	5627.453	-483.776	94.725	1.587	-1.020	108.992	185.856
E1	5828.340	-467.172	94.725	26.809	-0.969	362.936	480.716
E2	5821.288	-467.754	94.725	18.468	-0.978	362.334	470.023
E3	5819.214	-467.926	94.725	12.859	-0.985	365.143	466.027
E4	5815.824	-468.206	94.725	9.081	-0.989	366.195	463.153
E5	5810.782	-468.623	94.725	6.474	-0.992	364.030	457.327
E6	5807.606	-468.885	94.725	4.606	-0.995	363.503	454.105
E7	5794.265	-469.988	94.725	3.337	-0.996	353.681	440.165
E8	5787.057	-470.584	94.725	2.372	-0.997	349.657	433.463
Zwischenfokus	4131.764	-607.401	94.725	Zwischenfokus			
S1	4142.989	-606.473	94.725	22.469	-0.990	2001.465	2412.000
S2	4139.396	-606.770	94.725	15.289	-0.993	2006.899	2386.000
S3	4137.061	-606.963	94.725	10.616	-0.995	2010.777	2366.000
S4	4135.509	-607.091	94.725	7.508	-0.997	2014.575	2357.000
S5	4134.407	-607.182	94.725	5.301	-0.998	2013.942	2346.000
S6	4133.635	-607.246	94.725	3.753	-0.998	2013.363	2337.000
S7	4133.088	-607.291	94.725	2.656	-0.999	2013.021	2329.000
S8	4132.699	-607.324	94.725	1.875	-0.999	2016.184	2325.000
erste Rasterelemente	643.159	-895.749	81.725	plan			
zweite Rasterelemente	1481.823	-1222.309	240.725	-1312.066	sphärisch		
N1	412.105	322.283	-84.717	-595.820	-0.094		
N2	458.587	-914.778	208.725	Torus, RY = -1102.3212, RX = -1090.277			
Feldformender Spiegel (Hyperboloid)	-215.988	97.641	-3.672	-73.930	-1.125		
Retikel	0.000	0.000	0	plan			
EP	-138.000	-1312.982	0				

Tabelle 2: Designdaten des Systems gemäß Figur 1c

	X	Y	Z	Alpha	Beta	Gamma	R	KY	ZV	ZH
Quelle	-1760.651	-2518.151	-1028.295	-90.000	22	90				
E1	-1772.816	-2548.259	-1028.295	-90.000	22	90	64.124	-0.950	225.164	419.074
E2	-1766.373	-2532.314	-1028.295	-90.000	22	90	30.367	-0.976	214.248	427.342
E3	-1763.248	-2524.578	-1028.295	-90.000	22	90	13.826	-0.989	212.877	424.448
E4	-1761.826	-2521.059	-1028.295	-90.000	22	90	6.266	-0.985	211.275	424.912
E5	-1761.167	-2519.428	-1028.295	-90.000	22	90	2.753	-0.998	206.018	433.540
Blende in Kollektor	-1683.107	-2326.224	-1028.295	-90.000	22	90		Blende, Durchmesser 42mm		
Zwischenfokus	-824.135	-200.191	-1028.295	-90.000	22	90				
2. Kollektor, normal incidence, torisch	0.000	1839.613	-1028.295	-90.000	11	90	Torus : RY = 2134.454, RX = -2056.743			
Feldfacetten (plan)	0.000	739.613	-1028.295	79.500	0	0	plan			
Pupillenfacetten (sphärisch)	0.000	1579.836	-1350.827	240.000	0	0	-1351.531			
erster Abbildungsspiegel (Ellipsoid)	0.000	471.596	324.998	268.248	0	0	-678.423	-0.103		
zweiter Abbildungsspiegel (Sphäre)	0.000	458.587	-914.778	208.225	0	0	-1116.003			
Feldformender Spiegel (Hyperboloid)	0.000	-215.988	97.641	-3.672	0	0	-73.930	-1.125		
Retikel	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	plan			
Eintrittspupille	0.000	-138.000	-1312.982	0.000	180	0				

Tabelle 3

Designdaten der optischen Komponenten des Systems gemäß Fig. 2

5	Position	Y	Z	$\alpha$	Scheitel- krümmungs- radius	konische Konstante
10	Licht-Quelle 1	2148.137	-1562.205	70.862	- keine Spiegelfläche -	
15	Planspiegel bzw. Spektralfilter	1184.513	-1227.797	147.434	Plan	
20	Zwischenfokus Z	883.404	-893.382	42.000	- keine Spiegelfläche -	
25	erstes facettiertes optisches Element 102	302.599	-248.333	36.000	-898.54	sphärisch
30	zweites facettiertes optisches Element 104	773.599	-1064.129	214.250	-1090.15	sphärisch
35	Spiegel 106	126.184	-250.216	31.500	288.1	sphärisch
40	Spiegel 108	372.926	-791.643	209.600	-855.8	sphärisch
	Spiegelscheitel von Spiegel 110	-227.147	118.541	-4.965	-80.5	-1.1485701
	Objektebene 114	0.000	0.000	0.000	Plan	
	Eintrittspupille E	-130.000	-1236.867	0.000	-keine Spiegelfläche	

## Patentansprüche

- 45 1. Beleuchtungssystem für Wellenlängen  $\leq 193$  nm mit
- 1.1 einer Objektebene
- 1.2 einer zur Objektebene konjugierten Ebene (200) **dadurch gekennzeichnet**, daß
- 1.3 zwischen der Objektebene und der konjugierten Ebene (200) eine erste Kollektoreinheit (3) sowie nach der
- 50 konjugierten Ebene (200) mindestens eine zweite Kollektoreinheit (300.1, 300.2) angeordnet ist, wobei die erste Kollektoreinheit (3) das von der Objektebene ausgehende Strahlbüschel in die konjugierte Ebene (200) fokussiert und
- 1.4 mindestens eine der Kollektoreinheiten (3, 300.1, 300.2) mindestens eine Spiegelschale umfaßt, auf die die Strahlen des von der Objektebene ausgehenden Strahlbüschels mit einem Einfallswinkel kleiner  $20^\circ$  zur Flächentangente der Spiegelschale auftreffen.
- 55 2. Beleuchtungssystem für Wellenlängen  $\leq 193$  nm mit
- 2.1 einer Objektebene
- 2.2 einer zur Objektebene konjugierten Ebene
- 2.3 einer Kollektoreinheit (3), die mindestens eine Spiegelschale umfaßt, auf die die Strahlen des von der Objektebene ausgehenden Strahlbüschels mit einem Einfallswinkel kleiner  $20^\circ$  zur Flächentangente der Spiegelschale auftreffen, wobei
- 60 2.4 die Kollektoreinheit (3) zwischen der Objektebene und der zur Objektebene konjugierten Ebene angeordnet ist und das von der Objektebene ausgehende Strahlbüschel in die konjugierte Ebene (200) fokussiert, **dadurch gekennzeichnet**, daß
- 2.5 ein erster Raum (304) und ein zweiter Raum (308) ausgebildet wird, und daß nahe oder in der zur Objektebene konjugierten Ebene (200) Einrichtungen zur räumlichen Trennung des ersten (304) und des zweiten
- 65 Raumes (308) vorgesehen sind.
3. Beleuchtungssystem nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einrichtungen zur räumlichen Trennung eine oder mehrere der nachfolgenden Einrichtungen umfaßt:



- Einrichtungen zur druckmäßigen Trennung des ersten Raumes vom zweiten Raum (314)
- Einrichtungen zur Abschirmung von Wärmestrahlung
- 4. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Kollektoreinheit (3, 300.1, 300.2) eine Vielzahl von Spiegelschalen (201) umfasst.
- 5. Beleuchtungssystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß, die Vielzahl der Spiegelschalen (201) um eine gemeinsame Rotationsachse (RA) ineinander angeordnet sind. 5
- 6. Beleuchtungssystem nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegelschalen (201) ringförmige Segmente von Ellipsoiden sind.
- 7. Beleuchtungssystem nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Spiegelschalen (201) ein erstes Segment, das ein Ausschnitt eines Hyperboloides ist und ein zweites Segment, das ein Ausschnitt eines Ellipsoides ist, umfassen. 10
- 8. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem ein erstes optisches Element (102) mit ersten Rasterelementen umfasst.
- 9. Beleuchtungssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Rasterelemente Planfacetten sind. 15
- 10. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem ein zweites optisches Element (104) mit zweiten Rasterelementen umfasst.
- 11. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem eine Objektebene (114), in der eine strukturtragende Maske angeordnet ist, umfaßt sowie optische Elemente (106, 108, 110) zur Formung und Ausleuchtung eines Feldes in der Objektebene (114). 20
- 12. Beleuchtungssystem nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Feld in der Objektebene (114), in der eine strukturtragende Maske angeordnet ist, das Segment eines Ringfeldes ist.
- 13. Projektionsbelichtungsanlage zur Herstellung von mikroelektronischen Bauteilen mit
  - 13.1 einem Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12
  - 13.2 einer strukturtragenden Maske 25
  - 13.3 einem Projektionsobjektiv (126)
  - 13.4 einem lichtsensitiven Objekt (124), wobei die strukturtragende Maske von dem Projektionsobjektiv auf das lichtensitive Objekt abgebildet wird.
- 14. Verfahren zur Herstellung von mikroelektronischen Bauteilen, insbesondere Halbleiter-Bauteilen mit einer Projektionsbelichtungsanlage gemäß Anspruch 13. 30

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

35

40

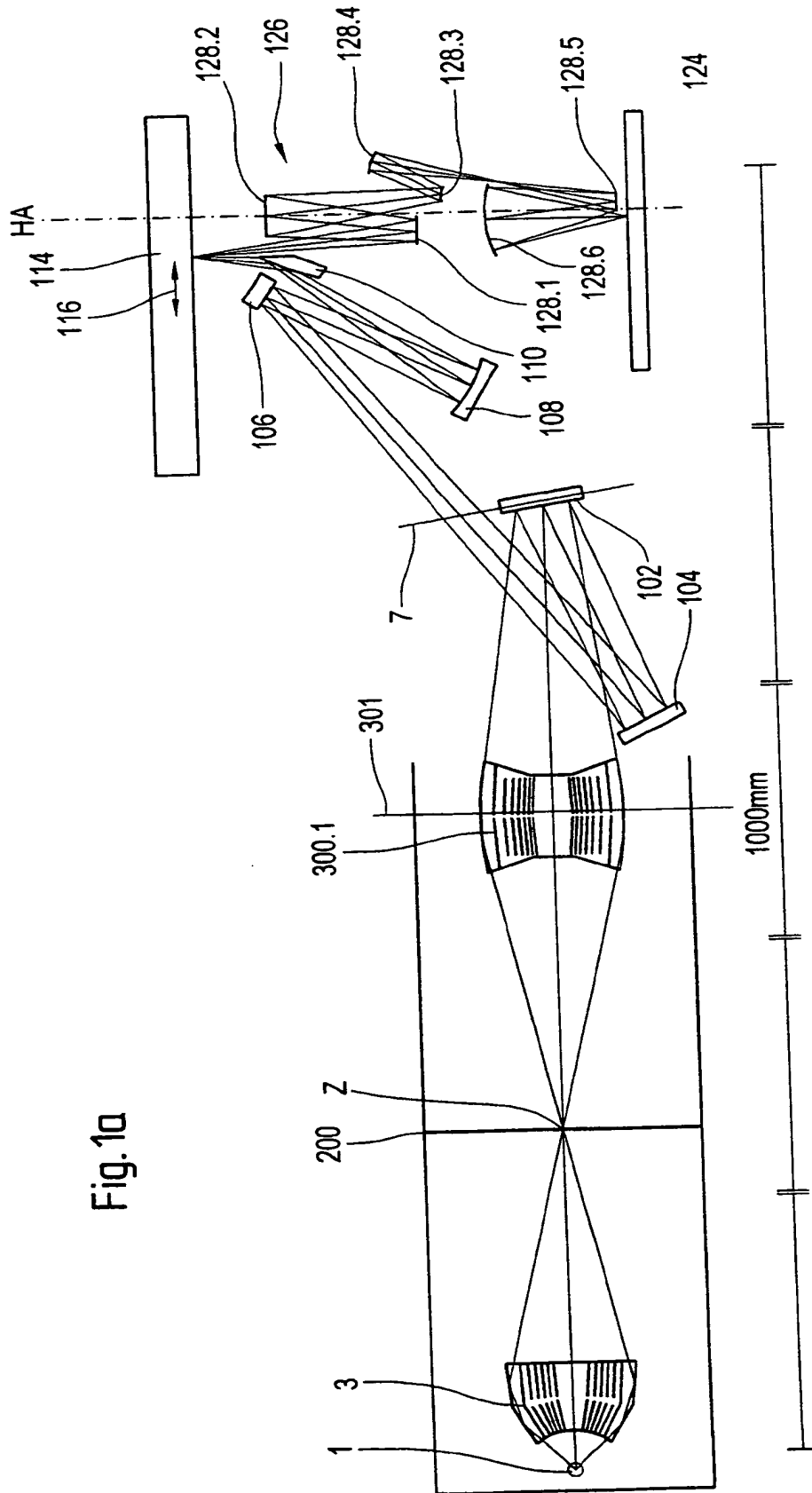
45

50

55

60

65



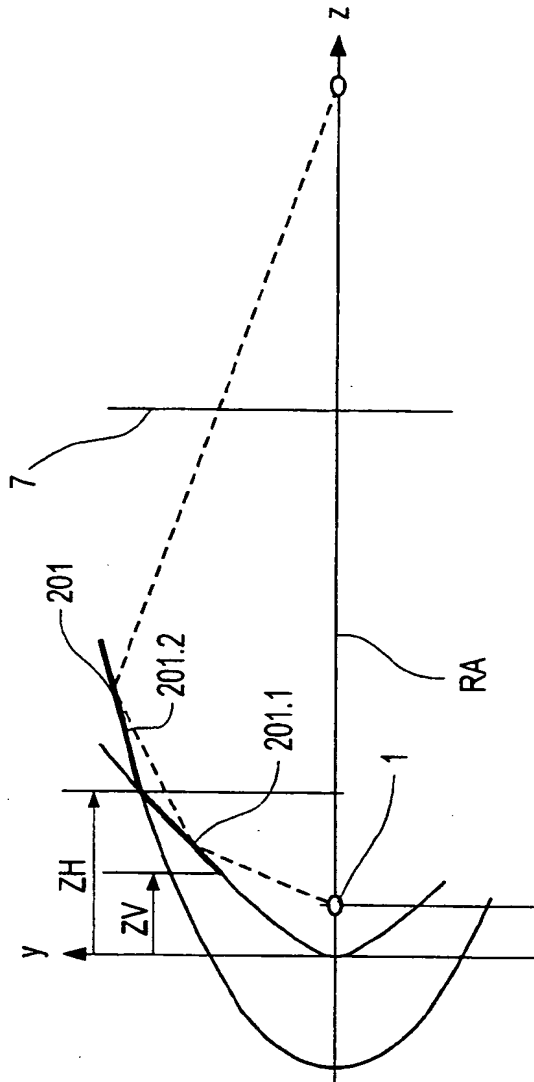
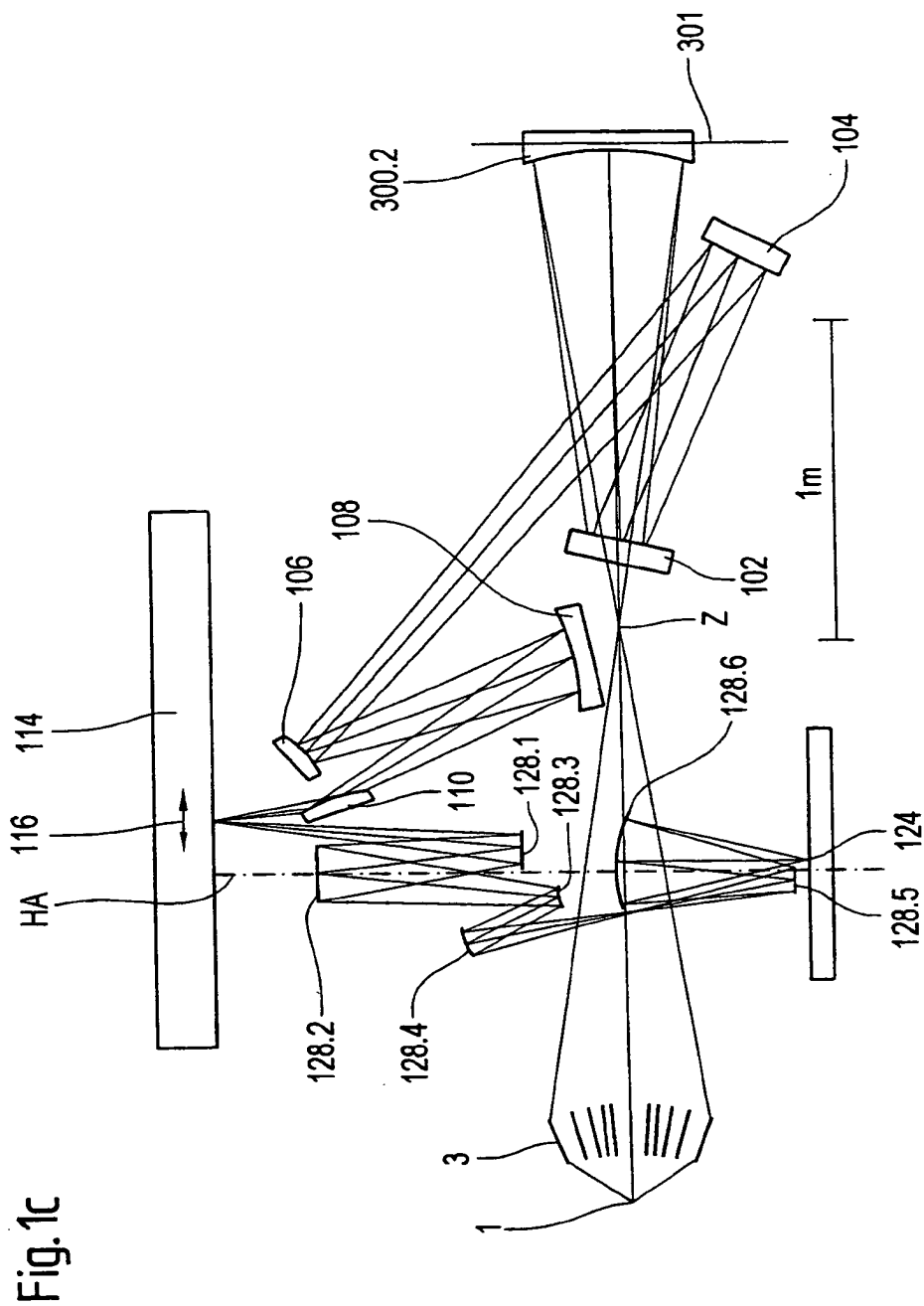


Fig. 1b



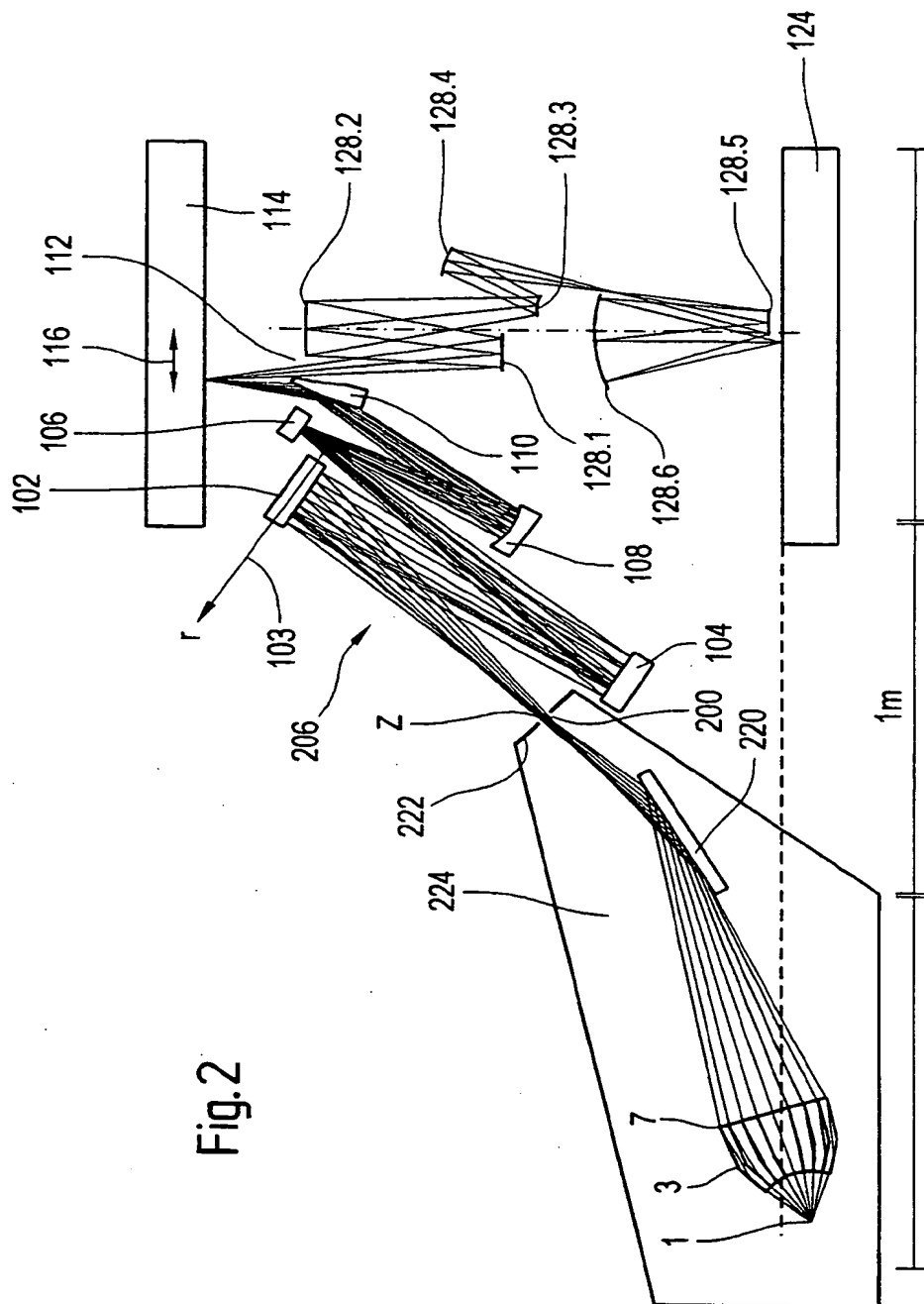


Fig. 2

Fig.3a

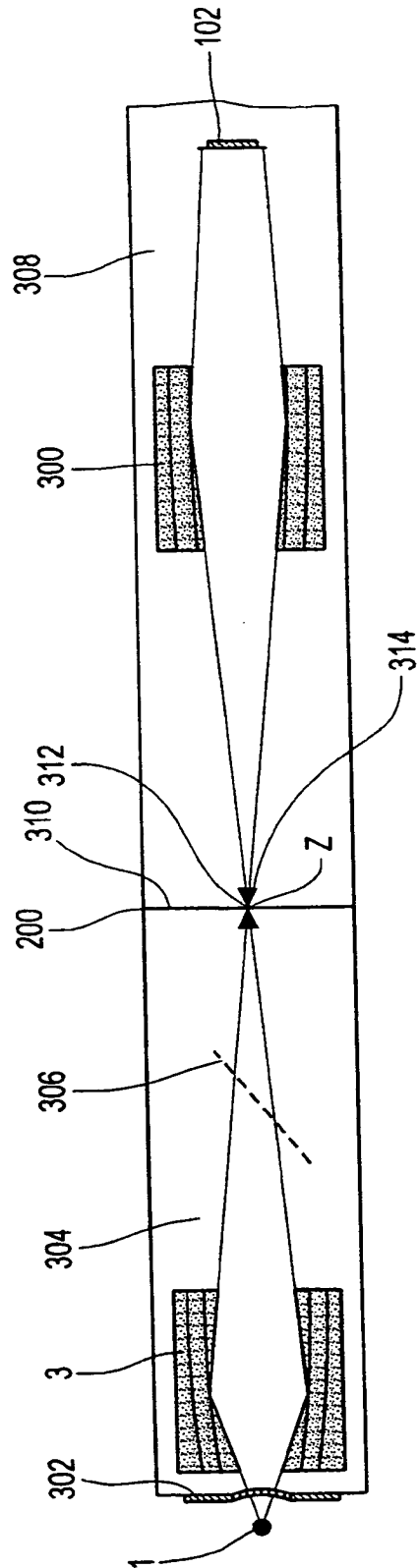


Fig.3b

